

넙치근에서 정량적 근전도를 이용한 일측 미로절제술 전후의 전정척수반사의 보상과정 평가

가천대학교 의학전문대학원 ¹이비인후과학교실, ²재활의학과학교실

김미주¹, 장서진¹, 이은지¹, 유아람¹, 황종현¹, 한규철¹, 이주강²

Quantification of Vestibulospinal Reflex Under the Stress Condition on Both Soleus Muscles

Mi Joo Kim, MD¹, Seo Jin Jang, MD¹, Eun Ji Lee, MD¹, Ah Ram Yu, MD¹, Jong Hyun Hwang, MD¹, Gyu Cheol Han, MD¹, Ju Kang Lee, MD²

Departments of ¹Otolaryngology-Head and Neck Surgery; ²Rehabilitation medicine, Graduate School of Medicine, Gachon University of Medicine and Science, Incheon, Korea

• Received Nov 7, 2011
 Revised (1st) Nov 14, 2011
 (2nd) Nov 22, 2011
 (3rd) Dec 15, 2011
 Accepted Dec 20, 2011

• Corresponding Author:
 Gyu Cheol Han, MD, PhD
 Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Graduate School of Medicine, Gachon University of Medicine and Science, 21 Namdong-daero 774 Beon-gil, Namdong-gu, Incheon 405-760, Korea
 Tel: +82-32-460-3324
 Fax: +82-32-467-9044
 E-mail: hangckr@gmail.com

• Copyright © 2012 by
 The Korean Balance Society.
 All rights reserved.

Background and Objectives: Vestibulospinal reflex (VSR), which is measured in static state, tends to be compensated prior to vestibulo-ospinal reflex. Therefore, by establishing method that enables to track and observe quantified VSR, the reliability of experiment is attempted to be increased. **Materials and Methods:** On five SD Rats to measure electromyogram (EMG), electrodes, in the form of stranded cables composed of seven wires, are chronically implanted on both sides of the soleus muscles. Pre and post operative condition of sitting still, standing, and ladder step walking was compared before, and six and twenty four hours after a unilateral labyrinthectomy with quantified muscle activity in maximal voluntary activity. Simultaneously by using multi modality electric potential plus package, the muscle activity between the two legs was tracked and compared. **Results:** In the sitting still position, the left/right soleus muscle activities were 25.7/26.0 μ V before a unilateral labyrinthectomy which was changed after the surgery with the value of 23.1/8.1 μ V and 23.4/14.3 μ V when six and twenty four hours passed respectively. In the standing position, 92.8/124.0 μ V of preoperative value was changed to 89.6/37.3 μ V six hours after the unilateral labyrinthectomy, and it was 97.0/54.7 μ V 24 hours after. The preoperative value in ladder step walking test was 56.2/86.0 μ V, and postoperative ones were 54.9/21.2 μ V and 55.7/38.0 μ V after six and twenty four hours respectively. **Conclusion:** VSR assessment method by using quantitative EMG well reflects the process of vestibular compensation, and to maintain the tension of extensor muscles, ladder step walking test is shown to be useful.

Research in Vestibular Science 2012;11(1):14-22

Key Words: Electromyogram; Vestibulo spinal reflex; Labyrinthectomy; Compensation; Ladder step walking test

서 론

전정기관은 공간에서 머리의 움직임을 감지하여 척추동물의 시축과 머리와 몸의 자세를 유지하는 중요한 역할을 한다.^{1,2} 동물모델에서 전정반사구를 이용하여 전정기관의 손상과 보상을 정량화 하는 방법들은 잘 알려져 있다.³⁻⁵ 실험동물에서 전정안반사를 측정하는 방법은⁶⁻⁸ 제한점이 많다. 첫째로 안구의 회선운동을 측정하기에는 동공과 공막의 명암대비가 뚜렷하지 않다. 둘째로 안구운동의 보상이 진행되는 기간에 객관적으로 검사간 신뢰도를 유지하면서 반복 측정하기가 어렵다. 셋째로 측안동물(lateral eyed animal)의 경우 각기 독립된 'tectofugal visual system'으로 'selective internal attention mechanism'에 의해 사물을 인식한다는 점 뿐만 아니라 각기 3개 신경원으로 구성된 공액운동이 존재하기는 하지만 눈모음-눈벌림에 관련된 운동이 존재하지 않기 때문에 전안동물(frontal eyed animal)인 사람의 입체시를 만드는 방법과 달라 수의적 안구운동과 반사구과 같은 불수의적 안구운동의 메커니즘이 다르거나 그 자체도 다른 수의적 안구운동 조절 신경원들의 영향을 받을 가능성이 있다.⁹ 반면 전정척수로는 2개 신경원으로 구성된 단순한 구조를 갖고 있으며 외측 전정척수반사로(lateral vestibulospinal reflex, LVSR)의 경우는 교차(decussation)를 하지 않아 순수하게 병측의 말단 전정기관부터 전정핵까지의 정보를 측정할 수 있다.¹⁰⁻¹²

기존의 LVSR검사법은 정적 상태에서 머리 기울임이나 사지의 늘어진 정도를 관찰하는 방법¹³과 동물의 제자리 돌기이나 뒷다리로 서기 등을 관찰하거나 두부-경추, 경추-흉부, 흉부-요추간 각도를 측정하여 전정기관의 결손을 보여주는 지표로 활용 했다.² 이런 방법들은 정적인 상태에서 한 쪽 전정기관의 손상 시에 충분한 전정보상이 일어나기 전까지 일정기간 유용한 검사법이 될 수 있지만 검사간 신뢰도의 문제로 객관적 자료로 활용하기에는 여전히 충분하지 않다. 정적 상태에서 자세 같은 전정척수반사는 빠르게 보상이 되지만 동적 상황에서 지속적인 비정상 검사소견을 보일 수 있으므로 실험동물에서 전정보상과정을 연구하는데 전정안반사 측정보다도 안정적이고 객관적인 LVSR연구방법 개발이 필요하다. 본 실험에서 전정신호의 변화가 LVSR의 지배를 받는 양측 넙치근(soleus muscle)에 미치는 영향을 일측 미로절제술 전후의 근전도 측정을 통해 정량화 함으로써 실험동물에서의 객관적 LVSR측정방법을 확립하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 실험동물

실험에 사용한 동물은 체중 250-300 g, 12주령, 암컷 백서(Sprague-Dawley rat, SD rat; Narabiotec, Seoul, Korea) 5마리를 사용하였다. 사육조건은 주간 14시간, 야간 10시간 주기로 하였으며, 실내온도는 25℃, 습도는 30%, 조명도는 100 Lux, 주변 소음은 50 dB 이하로 유지하였다. 모든 동물 실험은 가천대학교 동물실험윤리위원회의 권고안에 따랐다.

2. 전극의 설치

마취는 펜토바르비탈(Entobar inj., Hanlim Pharm. Co., Seoul, Korea)을 30 mg/kg과 자일라진(Xyla-ject, Phoenix Pharmaceuticals, St Joseph, MO, USA) 5 mg/kg으로 혼합하여 복강내 주입했다. 전극위치 교정이나 창상처치를 위해 필요에 따라 부분적으로 이소푸르란(Aerane, O₂ 5 L/min: 2.0, Ilsung Pharm. Co., Seoul, Korea)을 흡입 마취로 사용하였다.

전선 커넥터 고정을 위해 두정부에 1% 리도카인(LOT21-409-EV, ABBOTT LAB., Chicago, CA, USA)으로 국소마취를 시행한 후 직경 25 mm 색깔단추(www.felthouse.co.kr)를 23게이지 스테인레스 스틸 와이어로 피부에 봉합부착 하였다. 미리 제작해 소독된 미니어쳐 6핀 커넥터(www.Eleparts.co.kr, Korea)를 색깔단추 위에 글루로 고정시키고 커넥터에서 나온 5가닥의 테프론 코팅이 된 30 게이지 동축 전선(Alpha hook up wire, Wesbell electronics, NH, USA)을 피하로 뒷다리 부분까지 관통시켰다. 한 가닥은 접지선으로써 등근육에 삽입고정하고 두 가닥씩은 각각 활동전극과 참고전극으로 구분해 양쪽 뒷다리의 정강이까지 연장했다. 넙치근에 삽입될 최종 전극은 절연된 34게이지 7가닥연선(Cat. 793200, A-M systems, Sequim, WA, USA)을 사용하였다. 넙치근의 노출을 위해 고정된 정강이의 측부에 약 1 cm의 피부절개를 가한 후 연분홍빛의 비복근(gastronemius muscle)에 피부절개방향과 같은 방향으로 절개하여 발목 뒷꿈치에서 기시하는 건으로써 짙은 붉은색을 띠는 넙치근을 찾아 혈관 및 신경의 손상없이 박리하였다. 근육에 삽입될 전극 끝부분 약 2 mm의 절연체를 현미경하에서 제거했다. 18게이지 주사바늘로 넙치근의 중간부위와 기시부를 관통시켜 전극이 근육에 일정부위에 고정되도록 했다. 전극 끝의 7가닥의 연선을 원형으로 고르게 펴서 고리처럼 만들어 놓은 후에 팽팽하게 당겨 각 전극들이 근육에 박히도록 한 후 근막에

10-0 나일론 실로 봉합고정 하였다. 활동전극과 참고전극 사이의 거리는 5 mm로 일정하게 유지했다. 절개된 피부는 5-0 나일론 실로 고정하고 소독했다(Figures 1, 2).¹⁴⁻¹⁶

3. 미로절제술

총 5마리가 우측 미로절제술을 시행 받았다. 흡입마취 하에서 우측 후이개연을 따라 1% 리도카인을 주사하고 1 cm 길이의 수직 절개를 가하고 연골을 찾아 연골과 고막사이 연조직을 절개해 고막전장을 노출시켰다. 등골을 제외하고 고막과 나머지 이소골들을 제거했다. 정원창과 익구개 동맥(pterygopalatine artery)의 경로와 등골의 위치를 확인한 후에 정원창의 전상방에 22게이지 주사바늘을 이용하여 천공

술을 시행하였다. 외림프액의 누출이 확인되면 천공부위에 확장함과 동시에 외림프액의 누출이 더 이상 없을 때까지 24게이지 플라스틱 주사바늘(safe one, KGM Ltd., Kimpo, Korea)을 이용하여 반복 흡인을 했다. 절개부위는 5-0 나일론 실을 이용하여 봉합하였다. 수술 직후 수술쪽 안구의 하향편위와 반대쪽의 상향편위, 머리 기울임, 제자리 돌기, 옆구르기, 넓은 보폭 그리고 꼬리를 들었을 때 좌측으로 몸통을 회전하는 소견(tail-hanging test)을 통해 일측 미로절제술의 성공 여부를 확인 했다(Figure 3).^{2,17}

4. 실험 장비 및 환경과 측정방법

근전도 장비는 Viking IV D모델(Nicolet biomedical Inc., Fenton, MO, USA)을 사용하였으며 양측 다리의 근활성도 비교를 위해 multi modality electric potential (MMP plus) 패키지를 측정했으며 정량적 근활성도 측정을 위해 maximal voluntary activity (MVA)를 사용하였다. MMP plus 패키지는 양측 근력을 동시에 비교할 수 있고 유발전위 데이터의 측정표에서 자동으로 피크 값들을 찾아 웨이브의 진폭의 백분율로서 잡음을 제거 할 수 있는 시스템 변수이다. 200 ms, 500 μ V, 2 혹은 5 mV의 예민도와 20 Hz, 10 kHz의 저역통과필터와 고역통과필터를 사용하였다. MVA는 한쪽 다리씩 정량적으로 근력을 측정할 수 있는 매개변수이다. 200 ms, 500 μ V 혹은 1 mV의 예민도와 동일한 대역필터를 사용하여 신체의 움직임이 없을 때(sit still), 기울여 서있거나(standing) 걸을 때(stepping)에 측정했다. MVA측정을 통해 실효값(root mean square, RMS; μ V)의 변화를 측정하였다.

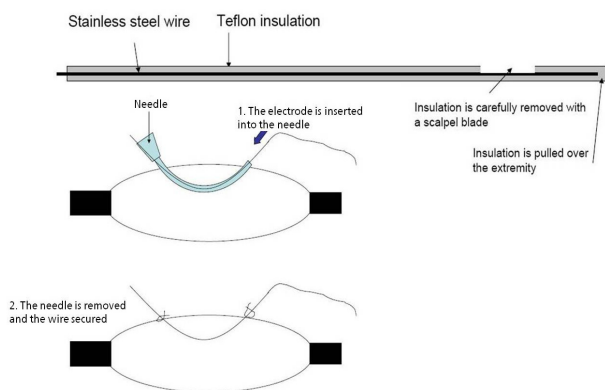


Figure 1. The process of making and implanting electrodes for measuring electromyogram. Two mm teflon is removed from the both ends of the 5 cm- electrode-wire. A guide needle is inserted into the soleus muscle, and place the prepared electrode followed by suturing it on the muscle fascia for fixation.

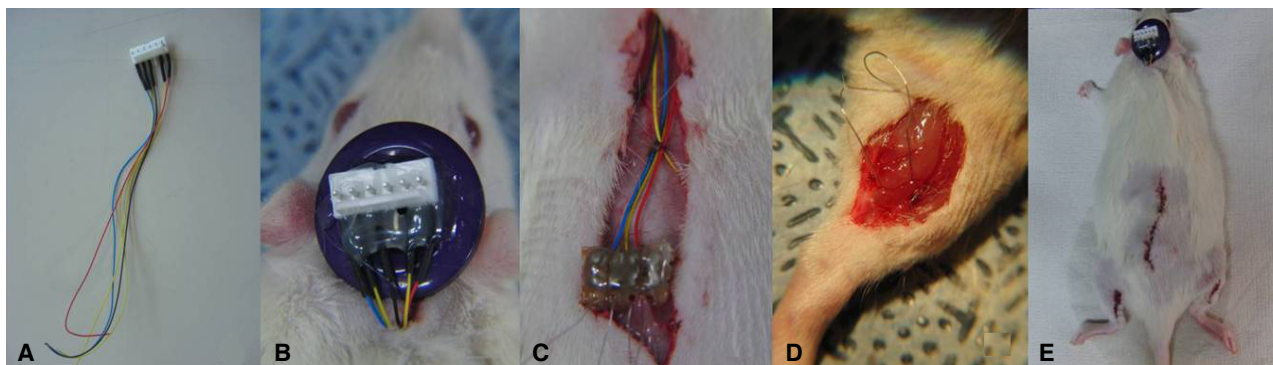


Figure 2. The fixation of a pin connector. Total five wires including left and right active-reference and ground electrodes are connected to a sterilized six-pin-connector. Pin-connector-fixing-button is placed on the head, and the connector is glued onto it. Five strands of wire are passed into the hypodermis, and are exposed at the gluteal region to connect it to the electrode connected from the leg.

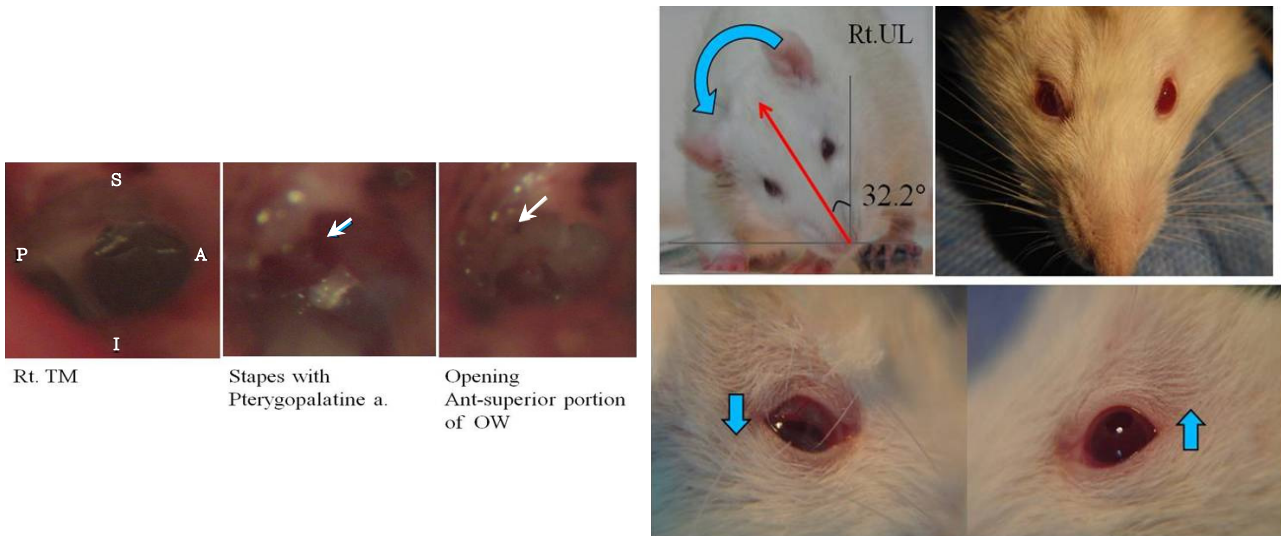


Figure 3. A unilateral labyrinthectomy, and post-operative head tilting and eyeball deviation. The tympanic membrane and the ossicles are removed after retroauricular incision was made; then, antero-superior bone is perforated with a 22 G needle followed by suctioning the leaked lymph repeatedly. The effect of labyrinthectomy is confirmed by head tilting toward the operated side, the downward eyeball deviation on the same side, and upward eyeball deviation on the other side. TM, tympanic membrane; OW, oval window; UL, unilateral labyrinthectomy.

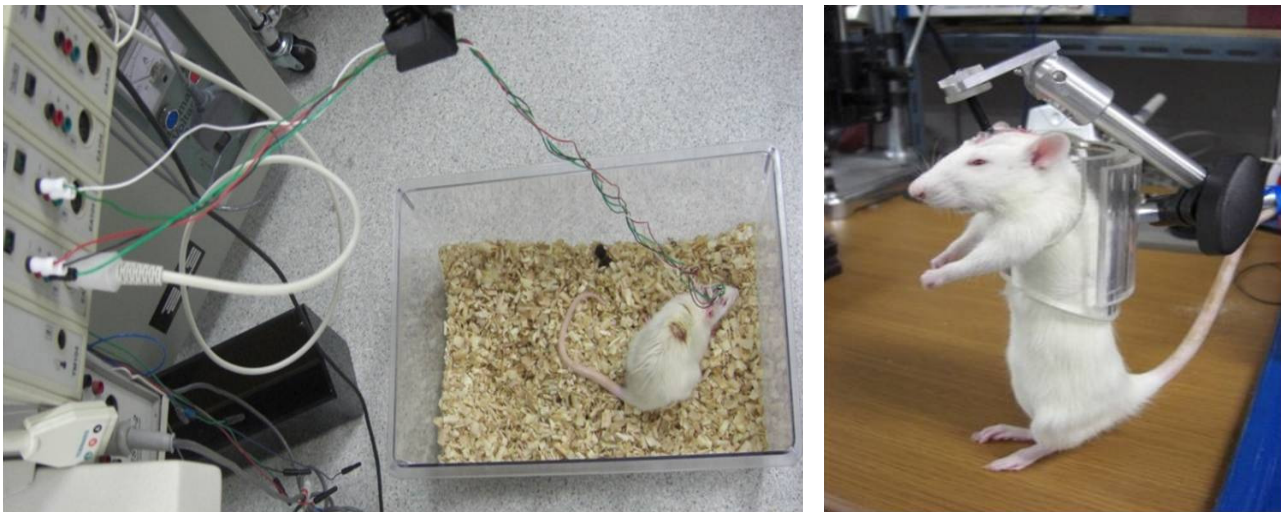


Figure 4. The position of sitting still and standing. Sitting still position represents the resting position without any effort of moving, and standing is a position in which only the two legs balance the whole body with the upper body leaned toward the front in 12.5 degrees.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [f(t)]^2 dt}$$

5. 실험의 설계와 운동의 측정

일측 미로절제술 전후로 6시간, 24시간째에 앉아 쉬기, 기울여 서기, 사다리 걷기 검사 등 3가지 조건에서 각각 넙치근 근전도를 하루 중 동일 시간대에 시행하였다. 앉아 쉬

기는 커넥터를 통해 1,000 mm 연선이 연결된 상태에서 육안상 움직임이 없는 상태를 의미하며, 기울여 서기는 앞발은 들어 몸통고정장치에 부착시키고 몸통이 지구 수직축에 12.5° 이상 기울여 뒷다리로 서기 자세를 취했을 때를 의미한다. 사다리 걷기 검사는 1,000 mm 길이의 폭이 60 mm이며 다리간격이 20 mm로 제작된 알루미늄 사다리를 7° 기울여 2.5-3.5 m/min 속도로 상향보행을 시켰다. 측정은 20-40번 반복 측정하여 평균치를 사용하였다(Figures 4, 5).

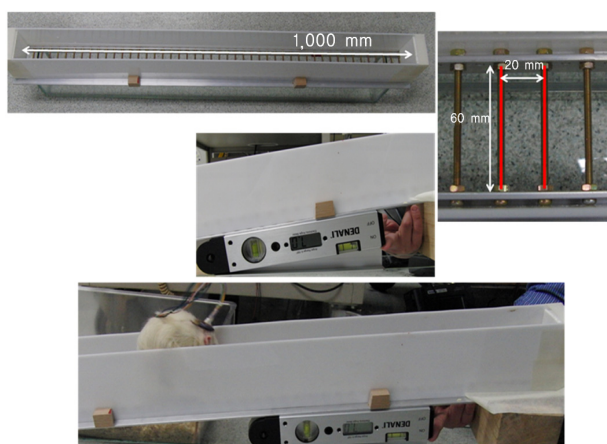


Figure 5. Ladder step walking test. The entire length of the ladder made of aluminum is 1,000 mm, and the steps are made with bolts fixed at 60×20 mm interval. This ladder step is angled with approximately 7 degrees to create a slope. Quantitative electromyography is measured while mice are climbing up the ladder step.

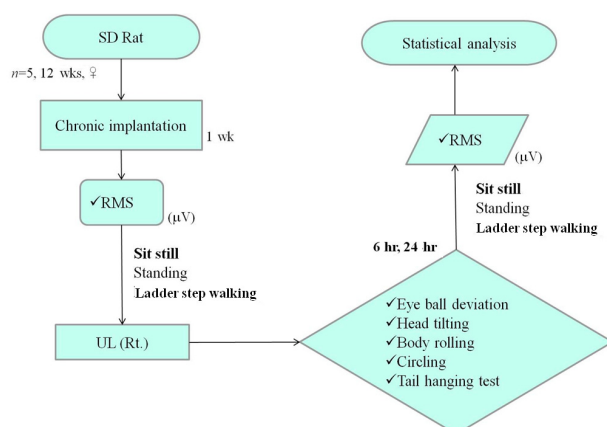


Figure 6. Experimental diagram. Electrodes are bilaterally implanted on the soleus muscles in five SD Rats. Pre and post operative MVA from the condition of sitting still, standing, and ladder step walking test was measured, and analysis is performed mainly with dual RMS. SD, sprague dawley rat; RMS, roots mean square; UL, unilateral labyrinthectomy; MVA, maximal voluntary activity.

6. 통계분석

MVA 및 MMP plus를 통해 얻어진 정보는 마이크로소프트 엑셀(Microsoft, Excel 2007, Seoul, Korea)과 프리즘(Prism 4 for windows, Graphpad software Inc., San Diego, CA, USA)을 이용하여 RMS값에 대해 수술 전후로 Mann-Whitney U test를 시행하였다. 필요에 따라 SPSS ver. 15.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA)를 병용 사용하였으며 95% 신뢰수준으로 하였다(Figure 6).

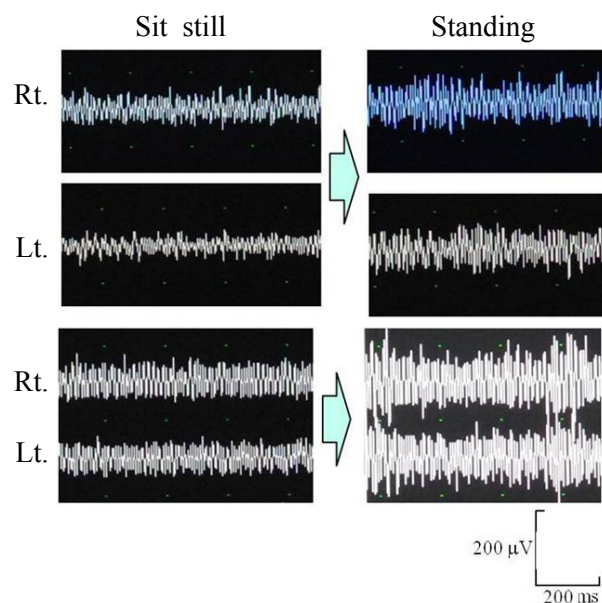


Figure 7. The electromyography result of sitting still, and standing position. In the left and right soleus muscle at 200 V sensitivity, the result is obtained by comparing the maximal voluntary activity (MVA) changes between sitting still and standing position. The MVA is amplified by two to three times in the standing position compared to sitting still position.

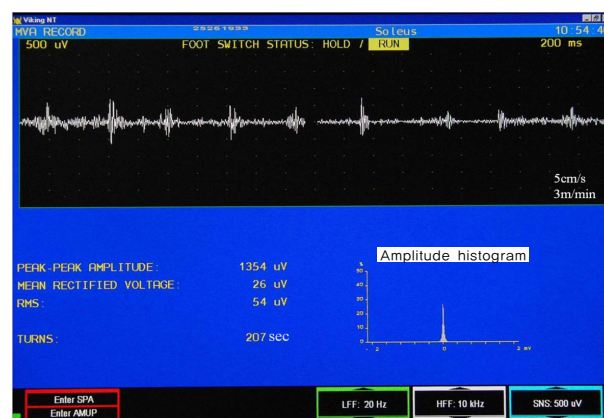


Figure 8. The maximal voluntary activity (MVA) opinion of ladder step walking test. This is resulted from climbing up the 7-degree-slope at 3 m/min for 9 steps, and it represents MVA value of soleus muscle on one side at 500 μ V sensitivity. Roots mean square value is measured to be 54 μ V.

결 과

앉아 쉬기에서 좌우측 넙치근 사이에 각각 25.7/26.0 μ V로 차이가 없었고 우측 미로절제술 후 6시간째는 23.1/8.1 μ V, 24시간째는 23.1/14.3 μ V로 변화되었다. 기울여 서기에서는

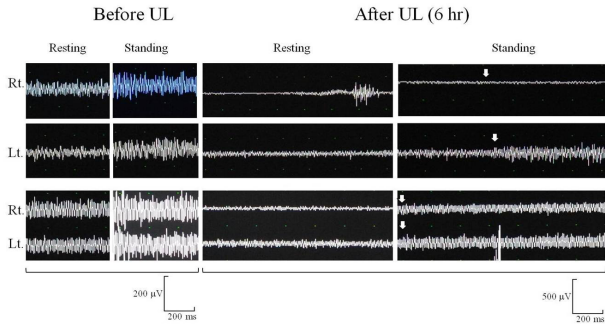


Figure 9. The change of EMG before and after the surgery in the position of sitting still and standing. Compared to the preoperative state, muscle activity on the operated side is decreased in sitting still condition, and also in standing condition, the amplitude of non-operated side is increased while the other side shows no response. The white arrow is pointing the starting position. UL, unilateral labyrinthectomy; EMG, electromyography.

92.8/124.0 μV 에서 우측 미로절제술 6시간째는 89.6/37.3 μV , 24시간째는 97.0/54.7 μV 로 변화되었다. 사다리 걷기검사는 술 전에는 56.2/86.0 μV 에서 술 후 6시간째는 54.9/21.2 μV , 24시간째는 55.7/38.0 μV 로 변화되었다(Figures 7-11).

고 찰

직립의 환경에서 머리와 몸통을 항중력방향으로 반사적으로 자세를 유지하는 전정척수반사는 전정기관에서 유도된 구심성 신호가 자세조절중추인 전정신경핵에서 최적화된 후 전정척수신경로를 경유하여 항중력근의 수축을 초래하는 메커니즘을 갖고 있다. 궁극의 신체의 균형 조절은 전정기관과 시야정보, 체성정보 등이 종합되어 이루어 진다. 최종적으로 조율된 정보는 다시 신체 신전근의 근긴장도를



Figure 10. The change of EMG before and after the surgery in the ladder step walking test. 24 hours after the surgery, during ladder step walking, the muscle activity is significantly recovered but the asymmetry is still observed. UL, unilateral labyrinthectomy EMG, electromyography.

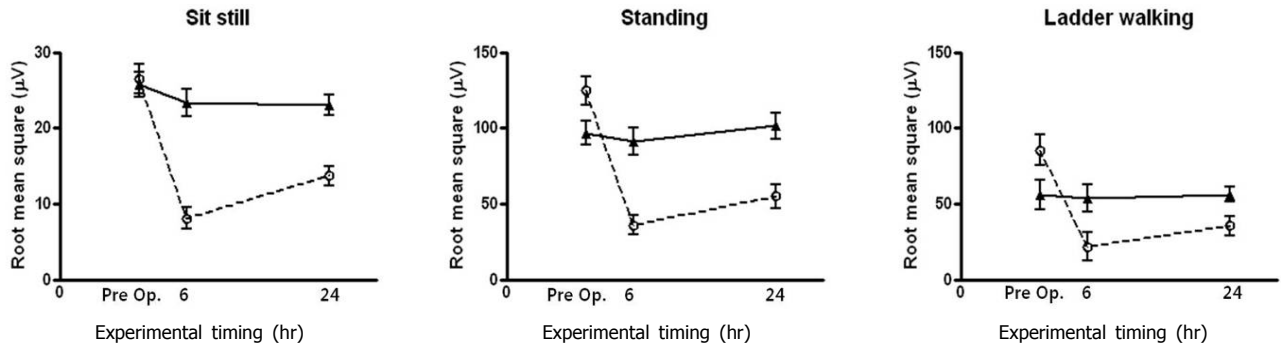


Figure 11. The change in preoperative, and 6/24 hr postoperative roots mean square values (RMS) of EMG in sitting still, standing, ladder step walking condition. The preoperative, and 6/24 hr postoperative values are significantly decreased in all positions compared to the pre-operative values, and these tend to recover 24 hr after the surgery (Mann-Whitney U test: $p < 0.05$). Solid line means RMS value on the left leg, and broken line means that on the right leg. EMG, electromyography.

유지하게 함으로써 최종적인 자세조절이 가능하다. 일측성 전정장애 혹은 일측 미로절제술의 경우 전정기관으로부터 전달된 정보량의 변화에 따라 최종적으로 동측의 신전근력의 변화를 초래하게 된다.

척수반사로는 내측 전정핵(medial vestibular nucleus)을 거쳐 머리운동과 위치 조절에 관여하는 내측 전정척수반사(medial vestibulospinal reflex)와 외측 전정핵(lateral vestibular nucleus)을 거쳐 신체의 자세와 보행에 관련된 LVSR이 주요 반사궁이며 이외에 전정핵 상위의 망상체를 거치는 망상체 척수로(reticulo spinal reflex)와 최상위의 자세 조절기관인 척수소뇌(spinocerebellum)로 구성된다. 이중 LVSR은 순수하게 동측의 신전근 조절에 관여하므로 임상적으로 하지의 신전근의 근활성도는 전정계 평가에 매우 유용하게 이용될 수 있다.^{18,19}

하지의 신전근 중에서도 한 개의 쌍을 이루는 비복근과 비복근 하층에 존재하며 발꿈치까지 이어지는 넙치근은 복합체를 이루면서 발꿈치를 들어 올리는 역할을 담당하고 있다. 이들 근 복합체의 긴장도에 따라 기립자세와 보행 안정성을 확보할 수 있다.²⁰

넙치근은 마이오신(myosin heavy chain isoform) 종류에 따른 type I과 type IIA 근섬유가 공히 존재하고 비복근보다 type I 근섬유의 함량%가 80% 이상 월등히 높아 순수한 신전근 변화량 추적에 이용된다.²¹ 이런 신전근 활동성 전위를 측정하는 대표적인 방법으로 근전도 측정법이 있다. 근전도를 위해 삽입되는 전극의 형태, 위치, 간격, 온도, 시간대, 수술방법, 고정방법 등 다양한 요소에 영향을 받기 때문에 이를 표준화 하기란 쉽지 않다. 하지만 실험실에서 검증된 프로토콜을 이용하여 기본적인 근긴장도를 측정하고 자극량을 줌으로써 그 변화를 추적한다면 전정척수반사를 평가할 수 있는 매우 유용한 방법이다. 일반적으로 표면전극은 피부저항이 높아 근활성도 측정의 예민도 자체가 감소되므로 삽입전극을 사용하는 것이 확실한 방법이지만 걷거나 구부릴 때 전극의 위치에 영향을 줄 수 있으므로 전극의 형태와 수술방법이 매우 중요하다. 본 실험에서는 7가닥의 스테인레스 스틸 연선을 사용함으로써 반복측정이나 걷는 정도의 근활성도 측정에 비교적 안정적인 결과를 얻을 수 있었다. 또한 활동전극과 참고전극 사이에 간격은 근활성도에 직접적인 영향을 미치는 요소로써 가까울수록 크게 나타난다. 넙치근의 길이가 1 cm 내외의 작은 근육임을 감안하면 특히 빠른 보행의 경우 측정 오차의 범위가 커질 수 있는 요인을 내포한다. 삽입전극은 갈고리모양으로 후킹(hooking)을 하게 되므로 후킹의 길이에 의해서도 간격이 변화될 수

도 있다. 이는 연선이 아닌 동축전극(single strain wire)을 사용하는 경우 후킹방향의 변화에 따라 더욱 영향을 받을 소지를 갖고 있다. 따라서 본 실험에서는 7가닥의 연선을 부채살처럼 퍼서 5 mm 간격을 유지하여 후킹을 함으로써 후킹에 따른 오차를 최대한 줄일 수 있었다.

실험동물에서 신전근의 근 긴장도를 일정하게 유지하는 것은 매우 어려운 일이다. 따라서 안정적으로 휴식을 취하는 자세와 12.5° 이상 일정한 각도로 상체를 기울임으로써 넘어지지 않기 위해 온전히 두발로 자신의 몸무게를 지탱하고 서있게 되는 경우가 일반적으로 근활성도를 측정할 때 사용하는 방법이다. 본 실험에서 보듯이 앉아 쉬기와 기울여 서기 사이에 근활성도는 약 4배 정도의 차이를 보인다. 하지만 일정시간 동안 동일한 기울여 서기 자세를 측정하게 하는 것도 좌우측 다리의 근 긴장도에 기본적인 편견(bias)이 내포되므로 자연스럽게 신전근의 긴장도를 유지시키기 위한 방법으로 사다리 걷기검사를 고안하였다. 이는 특정 각도를 인위적으로 유지시킬 필요도 없으며 걷는 속도를 등 급화함으로써 근긴장도를 객관적으로 비교할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 일반적인 설치류의 연습 보행 속도인 3 m/min로 사다리를 걷도록 하였고 근전도 측정 시간을 고려하여 사다리의 길이를 1,000 mm로 정했다. 사다리를 걷는 동안 근전도를 측정하지만 항상 일정한 결과를 얻는 것이 아니므로 총 보행 구간 중에서 일정 속도를 유지했던 구간의 결과만 분석함으로써 객관성을 유지할 수 있는 장점이 있었다. 단지 인위적인 기울여 서기자세보다는 근활성도가 낮게 측정되거나 양측에서 반복 측정에 따른 오차가 존재하는 단점이 있지만 이는 오차범위 이내이거나 측정 횟수를 증가시킴으로써, 혹은 극단적인 경우 근전도 기계자체를 보다 적합한 모델로 교체함으로써 보완 가능하리라 생각한다. 향후에는 고정된 사다리 보다는 전동화-전산화된 트레드밀을 사용함으로써 보행에 따른 근전도의 이득값을 구하는 방향으로 연구가 진행될 예정이다.

최대 근 활동 전위를 정량적으로 측정하는 MVA에는 화면 5초간에 측정된 최대-최소 증폭량의 차이를 보여주는 peak to peak amplitude (PPA)와 이 데이터를 교정한(rectification) mean rectified voltage, 그리고 실효값 등을 동시에 얻을 수 있다. 세가지 모두 유사하게 근활성도의 증폭량을 표현하는 매개변수이지만 일반적으로 단순한 PPA 값을 비교하기 보다는 개체의 실험간 오차를 줄이기 위해 정규화 과정(나이, 성별, 연령, 근육단면의 크기)을 거친 maximum voluntary isometric contraction, reference voluntary contraction을 쓰게 되는데 이때 사용되는 참고치가 실효값

이므로 본 실험도 이를 분석하였다.

말초전정기관이나 전정핵의 기능적 변화로 인한 전정척수반사로는 소뇌를 비롯한 보상기전을 통해 화학적-전기적 안정화를 이룬다. 일반적으로 정적인 전정척수로 반사에 대한 보상은 1일 이내에 매우 빠르게 진행되어 약 2-3주간에 걸쳐 완성되는 것으로 알려져 있다.²² 이는 전정안구반사의 보상보다 빠른 경향을 보인다. 본 실험에서는 안구운동과의 시간적 연관성을 조사하지는 않아 향후 보상에 관한 종합적인 연구를 위해 보충 실험이 필요할 것으로 생각된다.

본 실험결과 앉아 쉬기, 기울여 서기 자세, 사다리 걷기 등에서 공통적으로 술 후 6시간째에 측정된 RMS는 술 측에서 술 전에 비해 유의하게 감소되었다가($p<0.05$) 24시간째에 회복되는 양상을 볼 수 있었으며 술 전에 비해 24시간째에 측정된 RMS값은 아직 유의하게 차이가 있음을 알 수 있었다($p<0.05$). 앞서 본 실험과 유사한 연구결과보고에서 정상 측은 술 전에 비해 유의하게 증가되었으나 이번 결과에서는 그런 경향을 찾아 볼 수 없었고 이는 이론상 LVSR이 교차를 하지 않고 동측에만 영향을 미친다는 점에서 설득력 있는 결과이긴 하지만 사용된 동물개체의 숫자나 측정 방법의 차이도 요인으로 작용했을 가능성이 존재한다.

결 론

정량적 근전도를 이용한 전정척수로 평가방법은 전정기능변화와 보상과정을 잘 반영하고 있으며 신전근의 긴장도 유지를 위해 사다리 걷기검사가 유용한 방법임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 논문의 실험방법 중 전극 삽입 방법(Figure 1)은 Lille University of Science and Technology에 Mounir Kasri교수가 설명과 함께 직접 그려주었다. 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0011858).

중심 단어: 근전도, 전정척수반사, 미로절제술, 보상, 사다리 걷기검사

REFERENCES

1. Cullen KE, Roy JE. Signal processing in the vestibular system during active versus passive head movements. *J Neurophysiol* 2004;91:1919-33.
2. Vidal PP, Degallaix L, Josset P, Gasc JP, Cullen KE. Postural and locomotor control in normal and vestibularly deficient mice. *J Physiol* 2004;559:625-38.
3. Curthoys IS, Smith PF, Darlington CL. Postural compensation in the guinea pig following unilateral labyrinthectomy. *Prog Brain Res* 1988;76:375-84.
4. Curthoys IS, Halmagyi GM. Behavioural and neural correlates of vestibular compensation. *Baillieres Clin Neurol* 1992;1:345-72.
5. Curthoys IS, Halmagyi GM. Vestibular compensation: a review of the oculomotor, neural, and clinical consequences of unilateral vestibular loss. *J Vestib Res* 1995;5:67-107.
6. Stahl JS, van Alphen AM, De Zeeuw CI. A comparison of video and magnetic search coil recordings of mouse eye movements. *J Neurosci Methods* 2000;99:101-10.
7. Migliaccio AA, Macdougall HG, Minor LB, Della Santina CC. Inexpensive system for real-time 3-dimensional video-oculography using a fluorescent marker array. *J Neurosci Methods* 2005;143:141-50.
8. Migliaccio AA, Meierhofer R, Della Santina CC. Characterization of the 3D angular vestibulo-ocular reflex in C57BL6 mice. *Exp Brain Res* 2011;210:489-501.
9. Voss J, Bischof HJ. Eye movements of laterally eyed birds are not independent. *J Exp Biol* 2009;212:1568-75.
10. Kennedy PM, Cresswell AG, Chua R, Inglis JT. Vestibulospinal influences on lower limb motoneurons. *Can J Physiol Pharmacol* 2004;82:675-81.
11. Wilson VJ. Vestibulospinal and neck reflexes: interaction in the vestibular nuclei. *Arch Ital Biol* 1991;129:43-52.
12. Wilson VJ. Vestibulospinal reflexes and the reticular formation. *Prog Brain Res* 1993;97:211-7.
13. Kim MS, Kim JH, Jin YZ, Kry D, Park BR. Temporal changes of cFos-like protein expression in medial vestibular nuclei following arsanilate-induced unilateral labyrinthectomy in rats. *Neurosci Lett* 2002;319:9-12.
14. De-Doncker L, Kasri M, Falempin M. Soleus motoneuron excitability after rat hindlimb unloading using histology and a new electrophysiological approach to record a neurographic analogue of the H-reflex. *Exp Neurol* 2006;201:368-74.
15. Kasri M, Picquet F, Falempin M. Effects of unilateral and bilateral labyrinthectomy on rat postural muscle properties: the soleus. *Exp Neurol* 2004;185:143-53.
16. Garnier C, Falempin M, Canu MH. A 3D analysis of fore- and hindlimb motion during locomotion: comparison of overground and ladder walking in rats. *Behav Brain Res* 2008;186:57-65.
17. Hunt MA, Miller SW, Nielson HC, Horn KM. Intratympanic injection of sodium arsanilate (atoxyl) solution results in postural changes consistent with changes described for labyrinthectomized rats. *Behav Neurosci* 1987;101:427-8.
18. Grillner S, Hongo T, Lund S. The vestibulospinal tract. Effects on alpha-motoneurons in the lumbosacral spinal cord in the cat. *Exp Brain Res* 1970;10:94-120.
19. Keshner EA, Cohen H. Current concepts of the vestibular system reviewed: 1. The role of the vestibulospinal system in postural control. *Am J Occup Ther* 1989;43:320-30.
20. Caron O. Effects of local fatigue of the lower limbs on postural

- control and postural stability in standing posture. *Neurosci Lett* 2003;340:83-6.
21. **Tan U.** Entropy concept in relation to brain waves and evoked potentials: critique of a physical approach. *Int J Neurosci* 1985;28:249-60.
22. **De-Doncker L, Kasri M, Picquet F, Falempin M.** Physiologically adaptive changes of the L5 afferent neurogram and of the rat soleus EMG activity during 14 days of hindlimb unloading and recovery. *J Exp Biol* 2005;208:4585-92.